

WO 2005/096581 A1



PL, PT, RO, RU, SC, SD, SE, SG, SK, SL, SM, SY, TJ, TM,
TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VC, VN, YU, ZA, ZM,
ZW.

SE, SI, SK, TR), OAPI (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN,
GQ, GW, ML, MR, NE, SN, TD, TG).

(84) États désignés (*sauf indication contraire, pour tout titre de protection régionale disponible*) : ARIPO (BW, GH, GM, KE, LS, MW, MZ, NA, SD, SL, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), eurasién (AM, AZ, BY, KG, KZ, MD, RU, TJ, TM), européen (AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, HU, IE, IS, IT, LT, LU, MC, NL, PL, PT, RO,

Publiée :

— avec rapport de recherche internationale

En ce qui concerne les codes à deux lettres et autres abréviations, se référer aux "Notes explicatives relatives aux codes et abréviations" figurant au début de chaque numéro ordinaire de la Gazette du PCT.

**DEMODULATEUR COFDM A POSITIONNEMENT OPTIMAL DE FENETRE D'ANALYSE
FFT**

La présente invention concerne un démodulateur dit COFDM ("Coded Orthogonal Frequency Division Multiplex" ou multiplexage par division de fréquence orthogonale codée).

La figure 1 est destinée à illustrer le principe d'une modulation COFDM. Des paquets de données à émettre sont mis sous la forme de N coefficients complexes associés à N fréquences (ou porteuses) respectives. Le nombre N des fréquences est égal par exemple à 1705 pour le mode dit "2K" et à 6817 pour le mode dit "8K", en transmission herzienne de télévision numérique. Chaque coefficient complexe correspond à un vecteur qui est illustré en figure 1 comme partant d'un axe des fréquences en un point indiquant la fréquence associée au coefficient.

L'ensemble de ces N coefficients est traité par transformée de Fourier rapide inverse (IFFT), ce qui produit un "symbole" constitué d'une somme de porteuses modulées, chaque porteuse ayant une amplitude et une phase déterminées par le coefficient complexe associé. Le symbole ainsi généré est émis.

De manière classique, en transmission herzienne, la largeur du canal d'émission est de 6, 7 ou 8 MHz et chaque porteuse est séparée de la suivante par un écart de fréquence $\Delta f = 1/T_u$. T_u est la durée d'émission d'un symbole et est

appelée durée utile. La durée utile est de l'ordre de 224 μ s en mode 2K et 896 μ s en mode 8K, pour une bande passante de 8MHz.

A la réception, un récepteur fait subir au symbole le traitement inverse, c'est-à-dire principalement une transformée de Fourier rapide (FFT) pour reconstituer les coefficients complexes de départ.

Comme cela est représenté en figure 1, certains vecteurs P1, P2, P3... régulièrement répartis ont une valeur constante connue. Ces vecteurs, ou les porteuses correspondantes, sont appelés pilotes. Ils servent à refléter les distorsions subies par le signal transmis et par l'information qu'ils donnent sur la réponse du canal, ils permettent de corriger les vecteurs inconnus situés entre les pilotes.

La figure 2 illustre une transmission de plusieurs symboles successifs S_{n-1} , S_n ... Comme cela est représenté, chacun de ces symboles est précédé d'un intervalle de garde T_{gn-1} , T_{gn} qui est une recopie d'une partie de la fin du symbole correspondant. Les intervalles de garde sont souvent définis par une fraction de la durée utile T_u . Des valeurs classiques de l'intervalle de garde sont $T_u/32$, $T_u/16$, $T_u/8$ ou $T_u/4$.

Les intervalles de garde servent à éviter des distorsions de modulation inter-symbole provoquées par un écho de la transmission. La figure 2 représente également un écho S_{En-1} , T_{gEn-1} ... du signal émis. Cet écho est retardé par rapport au signal principal d'une durée inférieure à celle d'un intervalle de garde T_g .

Chaque symbole S est normalement analysé par le circuit FFT du récepteur dans une fenêtre W , ou fenêtre d'analyse FFT, de même longueur que le symbole. S'il n'y avait pas d'intervalle de garde, une fenêtre d'analyse W coïncidant avec un symbole du signal principal serait à cheval sur deux symboles du signal d'écho. Ceci provoquerait une erreur difficile à corriger dans le calcul de la transformée de Fourier FFT.

L'intervalle de garde T_g , pourvu qu'il soit supérieur au retard ou à l'avance de l'écho, offre une marge de réglage de la fenêtre d'analyse W pour qu'elle ne coïncide qu'avec des portions appartenant au même symbole, aussi bien dans le signal principal que dans l'écho. Le fait qu'une fenêtre d'analyse soit à cheval sur un symbole et son intervalle de garde introduit un déphasage qui est corrigé à l'aide des pilotes susmentionnés.

En figure 2, le symbole S_{n-1} doit être analysé dans une fenêtre W_{n-1} de durée T_u pouvant se positionner indifféremment dans la fenêtre délimitée par les instants t_a et t_b , l'instant t_a correspondant au début de l'intervalle de garde de l'écho T_{gEn-1} , et l'instant t_b correspondant à la fin du symbole S_{n-1} . De même, le symbole S_n doit être analysé dans une fenêtre W_n de durée T_u pouvant se positionner indifféremment dans la fenêtre délimitée par les instants t_c et t_d , l'instant t_c correspondant au début de l'intervalle de garde de l'écho T_{gEn} , et l'instant t_d correspondant à la fin du symbole S_n .

La figure 3 représente schématiquement la place de pilotes dans les symboles. Les symboles sont groupés en trames de 68 symboles, de façon classique en transmission hertzienne de télévision numérique (norme ETSI EN 300 744, V1.4.1).

En figure 3, chaque ligne représente un symbole et chaque case représente la position d'une porteuse. Les porteuses sont définies comme allant d'une position 0 à une position K_{max} , K_{max} étant égal à 1704 en mode 2K et 6816 en mode 8K. En effet, seule une partie des fréquences possibles est utilisée, notamment par suite de risque de pertes en bordure de canal. Les pilotes sont de deux types.

D'une part, il y a, dans chaque symbole, des pilotes continus P_c . Les pilotes continus correspondent à des fréquences particulières réparties dans le canal. Dans la norme ETSI évoquée ci-dessus, il y a en 45 en mode 2K et 177 en mode 8K. Les pilotes continus sont présents dans tous les symboles et occupent toujours la même position en fréquence. En figure 3,

seuls les pilotes continus correspondants aux positions 0 et Kmax ont été représentés.

5 D'autre part, il y a, dans chaque symbole, des pilotes Pr dits "répartis" ("scattered pilots" en anglais), qui sont disposés toutes les 12 porteuses, et décalés de trois positions entre deux symboles successifs. Ainsi, tous les quatre symboles, on retrouve la même disposition des pilotes répartis Pr.

10 Initialement, les fenêtres d'analyse FFT sont positionnées grossièrement par exemple par un procédé d'intercorrélation du signal reçu. Les pilotes continus et répartis, d'amplitude constante à l'émission, sont alors utilisés pour positionner finement les fenêtres d'analyse W.

15 Pour ce faire, au récepteur, le signal reçu complexe, temporel, après avoir été mis en bande de base, est fourni à un module de transformée de Fourier rapide fournissant le symbole dans le domaine fréquentiel. Les pilotes sont prélevés de ce symbole. Les pilotes prélevés permettent l'estimation de la réponse fréquentielle du canal qui, après avoir subi une transformée de Fourier inverse, fournit l'estimation de la
20 réponse impulsionnelle du canal. L'estimation de la réponse impulsionnelle du canal est utilisée pour positionner finement la fenêtre d'analyse W.

Toutefois, un problème existe du fait que les pilotes ne fournissent qu'une description incomplète du canal. En effet,
25 une prise en compte de plusieurs symboles successifs (au moins 4) ne permet d'avoir une image du canal que tous les trois points. Il en résulte que l'estimation de la réponse impulsionnelle du canal obtenue à partir des pilotes présente une périodisation de période égale à la durée utile T_u divisée
30 par trois.

La figure 4A représente un exemple de courbe 1 représentative de l'estimation en module de la réponse fréquentielle d'un canal de transmission. Les disques noirs 2
correspondent aux points de la courbe 1 disponibles à partir des
35 pilotes continus et répartis de quatre symboles successifs.

L'estimation de la réponse impulsionnelle du canal de transmission est obtenue par la transformée de Fourier inverse (IFFT) des points de l'estimation de la réponse fréquentielle obtenus pour les pilotes continus et répartis.

5 La figure 4B représente l'estimation en module de la réponse impulsionnelle du canal obtenue à partir des points de l'estimation en module de la réponse fréquentielle représentés par les disques noirs en figure 4A. L'estimation en module de la réponse impulsionnelle est schématiquement représentée par une
10 suite périodique d'impulsions 4 dont la période est égale à la durée utile T_u divisée par 3. Pour chaque période, une impulsion correspond au chemin principal emprunté par le signal et les autres impulsions correspondent à des échos. En pratique, l'estimation de la réponse impulsionnelle correspond davantage à
15 une suite périodique de pics "émoussés".

La figure 5 illustre schématiquement les étapes d'un procédé classique de positionnement de la fenêtre d'analyse du circuit FFT à partir de l'estimation en module de la réponse impulsionnelle. Le procédé comprend les étapes suivantes :

20 rechercher, sur une période de l'estimation en module de la réponse impulsionnelle, l'impulsion 7 d'amplitude maximale qui correspond au chemin principal ;

déplacer une fenêtre FE, dont la largeur correspond à l'intervalle de garde T_g , par rapport au chemin principal 7
25 depuis une position initiale 8 (représentée en traits pointillés) jusqu'à une position finale 9 (représentée en traits continus) et déterminer, pour chaque position de la fenêtre FE, "l'énergie" de l'estimation en module de la réponse impulsionnelle dans la fenêtre FE, "l'énergie" pouvant
30 correspondre à la somme des amplitudes des impulsions présentes dans la fenêtre FE ; et

affiner le positionnement de la fenêtre d'analyse W à partir de la position de la fenêtre FE correspondant à "l'énergie" maximale.

La position de la fenêtre FE correspondant à une énergie maximale est généralement utilisée par ailleurs pour déterminer l'estimation de la réponse fréquentielle pour les porteuses autres que des pilotes continus ou répartis, représentée par des disques blancs 6 sur la figure 4A. Pour ce faire, un filtre d'interpolation est généralement appliqué à l'estimation de la réponse impulsionnelle dont le positionnement est affiné en fonction de la position d'énergie maximale de la fenêtre FE.

De tels procédés pour affiner le positionnement de la fenêtre d'analyse FFT et le positionnement du filtre d'interpolation sont mis en oeuvre sur le démodulateur de référence STV0360 commercialisé par la demanderesse.

Dans le procédé précédemment décrit de positionnement de la fenêtre d'analyse FFT, la largeur de la fenêtre FE est égale à l'intervalle de garde T_g . Ceci signifie que tous les échos en dehors de l'intervalle de garde ne sont pas pris en compte pour affiner le positionnement de la fenêtre d'analyse FFT. Cependant, des échos sont généralement présents en dehors de l'intervalle de garde. Le fait qu'ils ne soient pas pris en compte pour affiner le positionnement de la fenêtre d'analyse FFT peut dégrader la qualité de la démodulation. Toutefois, la largeur de la fenêtre FE ne peut être augmentée au-delà de l'intervalle de garde car cela risque de rendre instable le procédé de positionnement de la fenêtre d'analyse FFT.

Un objet de l'invention est de prévoir un procédé de positionnement optimal de la fenêtre d'analyse FFT pour démodulateur COFDM permettant la prise en compte d'échos en dehors de l'intervalle de garde.

Pour atteindre cet objet, la présente invention prévoit un procédé de démodulation COFDM d'un signal reçu depuis un canal de transmission, comprenant les étapes consistant à effectuer la transformée de Fourier rapide du signal reçu dans une fenêtre correspondant à un symbole, chaque symbole comportant plusieurs porteuses modulées en phase et/ou en

amplitude, dont certaines sont des pilotes, et étant accolé à un intervalle de garde reproduisant une partie du symbole ; à fournir un ensemble de valeurs estimées de la réponse impuls ionnelle en module à partir des pilotes ; à déterminer des coefficients, chaque coefficient étant obtenu à partir du produit dudit ensemble et d'une fonction de filtrage pour une position relative déterminée de la fonction de filtrage par rapport audit ensemble ; à déterminer le coefficient maximum et la position relative correspondante ; et à positionner ladite fenê tre en fonction de ladite position relative correspondant au coefficient maximum, la fonction de filtrage comprenant une partie centrale d'amplitude constante et de durée égale à la durée de l'intervalle de garde, entourée de flancs décroissants non nuls.

Selon un mode de réalisation de la présente invention, l'étape consistant à fournir l'ensemble de valeurs estimées de la réponse impuls ionnelle en module comprend une étape de fourniture d'un ensemble de valeurs estimées de la réponse fréquentielle du canal de transmission à partir des pilotes et une étape de transformation dudit ensemble de valeurs estimées de la réponse fréquentielle par transformée de Fourier rapide inverse.

Selon un mode de réalisation de la présente invention, pour chaque position relative de la fonction de filtrage par rapport à l'ensemble de valeurs estimées de la réponse impuls ionnelle en module, le coefficient est déterminé à partir de la somme des produits des valeurs estimées de l'ensemble de valeurs estimées de la réponse impuls ionnelle en module et de la fonction de filtrage.

Selon un mode de réalisation de la présente invention, l'ensemble de valeurs estimées de la réponse impuls ionnelle en module est périodique, la fonction de filtrage ayant une largeur totale inférieure à la période de l'ensemble de valeurs estimées de la réponse impuls ionnelle en module.

Selon un mode de réalisation de la présente invention, la fonction de filtrage est une fonction à échelons.

Selon un mode de réalisation de la présente invention, chaque flanc comprend au moins un premier et un second échelons
5 adjacents ayant chacun une amplitude non nulle et strictement inférieure à l'amplitude de la portion centrale, le second échelon étant adjacent à la portion centrale, le double de l'amplitude du second échelon étant supérieur à la somme de l'amplitude de la portion centrale et de l'amplitude du premier
10 échelon.

Selon un mode de réalisation de la présente invention, la durée du second échelon est inférieure à la durée du premier échelon.

Selon un mode de réalisation de la présente invention,
15 la fonction de filtrage est symétrique.

La présente invention prévoit également un démodulateur COFDM destiné à recevoir un signal reçu depuis un canal de transmission, comprenant un circuit de transformée de Fourier rapide du signal reçu dans une fenêtre correspondant à
20 un symbole, chaque symbole comportant plusieurs porteuses modulées en phase et/ou en amplitude, dont certaines sont des pilotes, et étant accolé à un intervalle de garde reproduisant une partie du symbole ; un circuit de fourniture d'un ensemble de valeurs estimées de la réponse impulsionnelle en module du
25 canal de transmission à partir des pilotes ; un circuit de détermination de coefficients, chaque coefficient étant obtenu à partir du produit dudit ensemble et d'une fonction de filtrage pour une position relative déterminée de la fonction de filtrage par rapport audit ensemble ; un circuit de détermination du
30 coefficient maximum et de la position relative correspondante ; et un circuit de positionnement de ladite fenêtre en fonction de ladite position relative correspondant au coefficient maximum, dans lequel la fonction de filtrage utilisée par le circuit de détermination des coefficients comprend une partie centrale

d'amplitude constante et de durée égale à la durée de l'intervalle de garde, entourée de flancs décroissants non nuls.

Cet objet, ces caractéristiques et avantages, ainsi que d'autres de la présente invention seront exposés en détail dans la description suivante d'un exemple de réalisation
5 particulier faite à titre non-limitatif en relation avec les figures jointes parmi lesquelles :

la figure 1, précédemment décrite, représente des porteuses modulées en phase et en amplitude dans un système de transmission COFDM ;
10

la figure 2, précédemment décrite, représente des signaux reçus par un démodulateur COFDM et des fenêtres d'analyse FFT des signaux ;

la figure 3, précédemment décrite, représente schématiquement la position de pilotes dans des symboles ;
15

les figures 4A et 4B, précédemment décrites, représentent schématiquement des exemples des estimations en module de la réponse fréquentielle et de la réponse impulsionnelle du canal de transmission ;

la figure 5, précédemment décrite, illustre un exemple de procédé classique de positionnement de la fenêtre d'analyse FFT ;
20

la figure 6 représente un exemple de réalisation d'un démodulateur selon la présente invention ;

la figure 7 représente un exemple de réalisation d'une fonction de filtrage mise en oeuvre par le procédé selon l'invention de positionnement de la fenêtre d'analyse FFT ;
25

les figures 8 et 9 illustrent des étapes du procédé selon l'invention de positionnement de la fenêtre d'analyse FFT ; et
30

les figures 10A, 10B à 13A, 13B illustrent certains avantages du procédé selon l'invention de positionnement de la fenêtre d'analyse FFT.

La figure 6 représente un exemple de démodulateur COFDM selon la présente invention. Le signal reçu comprend des
35

pilotes continus, des pilotes répartis, et des porteuses de données.

En figure 6, une entrée E du démodulateur reçoit un signal IF de fréquence intermédiaire permettant un échantillonnage, par exemple 36 MHz. Le signal IF correspond au signal reçu après divers changements ou transpositions de fréquence.

L'entrée E est couplée à un convertisseur analogique-numérique 10 (ADC) qui numérise le signal d'entrée IF. Le convertisseur analogique-numérique 10 attaque un module 12 de changement de fréquence. Le module 12 fournit un signal sensiblement en bande de base, le spectre du signal en sortie du module 12 étant centré sur une fréquence sensiblement égale à zéro. Le module 12 est couplé à un module 14 permettant d'une part un réglage fin de la fréquence centrale du spectre du signal et, d'autre part, de fournir des échantillons temporels à des instants appropriés au traitement ultérieur. En sortie du module 14, le spectre du signal est centré sur une fréquence égale à 0 et le nombre et la position temporelle des échantillons sont adaptés à la transformation par transformée de Fourier qui a lieu dans le module suivant. Le module 14 est commandé par des liaisons 15 et 15' reliant le module 14 à un module 16 de traitement des pilotes continus et repartis.

La sortie du module 14 attaque un module 20 de transformée de Fourier rapide (FFT) qui fournit les fréquences correspondant à un symbole. Le module 20 est piloté par un module 22 qui fournit, par l'intermédiaire d'une liaison 24, un signal de réglage de la fenêtre d'analyse de la transformée de Fourier.

La sortie du module 20 est couplée au module 16 qui réalise l'extraction et le traitement des pilotes continus et répartis. Le module 16 fournit sur les liaisons 15 et 15' les signaux destinés à corriger la fréquence centrale du spectre et la fréquence d'échantillonnage du signal.

La sortie du module 20 attaque un module 30 dans lequel le signal est corrigé à l'aide d'une estimation de la réponse fréquentielle du canal. L'estimation de la réponse fréquentielle du canal est réalisée dans le module 16 à l'aide
5 des pilotes. Cette estimation est fournie par le module 16 sur une liaison 35, dont une branche 35a est couplée au module 30. En sortie du module 30, le signal comprend les porteuses véhiculant les données.

L'estimation de la réponse fréquentielle du canal,
10 fournie par le module 16, alimente, par l'intermédiaire de la liaison 35 et d'une branche 35b de la liaison 35, un module 36 de transformée de Fourier inverse (IFFT), pour déterminer la réponse impulsionnelle du canal. Le module 36 fournit la réponse impulsionnelle du canal au module 22, pour ajuster dynamiquement
15 le positionnement de la fenêtre d'analyse FFT. Le module 22 est relié au module 30 pour ajuster dynamiquement la position d'un filtre d'interpolation utilisé pour déterminer l'estimation de la réponse fréquentielle du canal pour les porteuses autres que les pilotes continus et répartis.

20 Le traitement des porteuses véhiculant les données est assuré dans un circuit 40 de traitement et de fourniture de données. Le circuit 40 a une structure classique et peut comporter, comme cela est représenté en figure 4, un module 42 de désentrelacement de symboles, un module 44 dit de
25 "démappage", un module 46 de désentrelacement de bits, et un module 48 (FEC) de correction d'erreur. La sortie du module 48 constitue la sortie S du circuit 40 et du démodulateur et fournit des données correspondant aux données émises.

Le procédé pour affiner le positionnement de la
30 fenêtre d'analyse FFT comprend les étapes décrites précédemment. La présente invention consiste à utiliser une fonction de filtrage particulière à la place de la fenêtre FE précédemment décrite permettant de prendre en compte certains échos en dehors de l'intervalle de garde.

La figure 7 représente un exemple de fonction de filtrage FE selon l'invention. Les échelles, notamment selon l'axe temporel, ne sont pas respectées.

Dans le présent exemple de réalisation, la fonction de
5 filtrage FE comprend N échelons successifs. Chaque échelon d'indice j , $j=1$ à N , est caractérisé par une durée ΔT_j et par une amplitude L_j . La détermination de l'énergie de l'estimation en module de la réponse impulsionnelle par rapport à la fonction de filtrage FE peut être réalisée à partir d'une portion de
10 l'estimation en module de la réponse impulsionnelle du canal de durée égale à la période de l'estimation en module de la réponse impulsionnelle, c'est-à-dire égale à la durée utile T_u divisée par 3 dans le présent exemple de réalisation. La somme totale des durées ΔT_j , $j=1$ à N , peut alors être supérieure à la période
15 de l'estimation en module de la réponse impulsionnelle. Toutefois, la détermination de l'énergie de l'estimation en module de la réponse impulsionnelle par rapport à la fonction de filtrage FE peut être réalisée à partir de la totalité de l'estimation en module de la réponse impulsionnelle. La somme
20 totale des durées ΔT_j , $j=1$ à N , est alors inférieure à la période de l'estimation en module de la réponse impulsionnelle.

Les amplitudes L_j augmentent depuis l'amplitude L_1 du premier échelon jusqu'à une amplitude maximale L_{MAX} correspondant à un échelon d'indice m_i puis décroît depuis
25 l'amplitude maximale L_{MAX} jusqu'à l'amplitude L_N du dernier échelon d'indice N . La durée ΔT_{m_i} de l'échelon d'indice m_i est égale à la durée de l'intervalle de garde T_g . La fonction de filtrage peut être considérée comme ayant une portion centrale constante, l'échelon d'indice m_i , entourée de flancs
30 décroissants, les échelons d'indices $j=1$ à m_i-1 et $j=m_i+1$ à N . Les flancs décroissants sont non nuls dans la mesure où au moins l'une des amplitudes L_j pour $j=1$ à m_i-1 et pour $j=m_i+1$ à N est différente de zéro.

Les durées ΔT_j , $j=1$ à N , sont telles que :

$$\frac{\Delta T_{mi}}{2} + \sum_{j=1}^{mi-1} \Delta T_j = \frac{\Delta T}{2}$$

Ceci signifie que l'échelon d'indice mi est sensiblement situé au centre de la fonction de filtrage FE.

L'amplitude L_j de l'échelon d'indice j suit la relation suivante, pour $j=1$ à N :

$$2 \times L_j \geq L_{j-1} + L_{j+1}$$

A titre d'exemple, on a les relations suivantes :

$$\Delta T_{j+1} > \Delta T_j \text{ au moins pour } mi < j \leq mi+4$$

$$\Delta T_{j+1} < \Delta T_j \text{ au moins pour } mi-4 \leq j < mi$$

Plus précisément, de façon avantageuse, on a les relations suivantes :

$$\Delta T_{j+1} > 1,5 \times \Delta T_j \text{ au moins pour } mi < j \leq mi+4$$

$$\Delta T_{j+1} < 1,5 \times \Delta T_j \text{ au moins pour } mi-4 \leq j < mi$$

De façon avantageuse, le nombre d'échelons N est impair. A titre d'exemple, 19 échelons sont représentés en figure 7. En outre, la fonction de filtrage FE est avantageusement symétrique, ce qui se traduit, pour $j=1$ à N , par les relations suivantes :

$$\Delta T_j = \Delta T_{N+1-j}$$

$$L_j = L_{N+1-j}$$

De façon générale, pour chaque indice, l'amplitude L_j et la durée ΔT_j sont fixées en fonction de la modulation utilisée, notamment en fonction de la durée de l'intervalle de garde T_g . En outre, quelle que soit la modulation utilisée, les amplitudes L_1 et L_N associées respectivement aux échelons d'indices 1 et N sont égales à zéro.

Les figures 8 et 9 illustrent schématiquement deux étapes du procédé de positionnement de la fenêtre d'analyse FFT selon l'invention mettant en oeuvre la fonction de filtrage FE représentée en figure 7. Les échelles, notamment selon l'axe temporel, ne sont pas respectées. Comme cela a été décrit précédemment, pour la détermination de l'énergie de l'estimation de la réponse impulsionnelle par rapport à la fonction de filtrage FE, on peut n'utiliser qu'une portion de l'estimation

en module de la réponse impulsionnelle dont la durée est égale à une période de l'estimation en module de la réponse impulsionnelle. Ladite portion de l'estimation de la réponse impulsionnelle est alors déterminée par tout procédé adapté. Une
5 première étape du procédé consiste alors à rechercher, sur ladite portion de l'estimation en module de la réponse impulsionnelle du canal, l'impulsion ayant une amplitude maximale. Une telle impulsion est associée à un instant de référence t_R et est considérée comme correspondant au chemin
10 principal emprunté par le signal reçu par le démodulateur. Dans le cas où la totalité de l'estimation en module de la réponse impulsionnelle est utilisée, le chemin principal est déterminé par tout procédé adapté.

La fonction de filtrage FE est alors déplacée par
15 rapport à l'instant t_R depuis un instant initial t_1 , inférieur à t_R , jusqu'à un instant final t_2 , supérieur à t_1 et inférieur à t_R , de sorte que l'échelon d'indice m_i se situe à l'instant initial t_1 avant le chemin principal 60, et à l'instant final t_2 après le chemin principal 60.

20 Pour une position de la fonction de filtrage FE déterminée, l'énergie de l'estimation de la réponse impulsionnelle par rapport à la fonction de filtrage FE est obtenue en multipliant l'amplitude de chaque écho par l'amplitude de l'échelon contenant ledit écho, en multipliant
25 l'amplitude du chemin principal par l'amplitude de l'échelon contenant le chemin principal et en additionnant les amplitudes ainsi pondérées. En pratique, l'estimation en module de la réponse impulsionnelle est mémorisée sous la forme d'une table contenant des indices représentatifs d'instants successifs, à
30 chaque indice étant associé une valeur de l'estimation en module de la réponse impulsionnelle. On détermine alors une table analogue représentative de la fonction de filtrage FE à la position initiale à l'instant t_1 . Dans le cas où seule une portion de l'estimation en module de la réponse impulsionnelle
35 est utilisée pour la détermination de l'énergie, on ne conserve

qu'une partie de la table représentative de l'estimation en module de la réponse impulsionnelle. L'énergie de l'estimation en module de la réponse impulsionnelle par rapport à la fonction de filtrage FE à la position initiale t_1 est obtenue en multipliant, pour chaque indice, les valeurs stockées dans les tables représentatives de la fonction de filtrage et de l'estimation en module de la réponse impulsionnelle, et en additionnant les produits obtenus. Décaler la fonction de filtrage par rapport à l'estimation en module de la réponse impulsionnelle revient alors à décaler les indices de la table représentative de la fonction de filtrage.

La demanderesse a mis en évidence que l'utilisation d'une fonction de filtrage FE telle que définie par les caractéristiques mentionnées précédemment permet avantageusement de prendre en compte les échos en dehors de l'intervalle de garde pour le positionnement de la fenêtre d'analyse FFT tout en évitant une instabilité du procédé.

Sur les figures 10A, 10B à 13A, 13B, qui illustrent les avantages de la présente invention, la fonction de filtrage FE est représentée, pour des raisons de simplicité, avec un nombre d'échelons moins important que la fonction de filtrage de la figure 7. Chaque figure 10A, 10B à 13A, 13B représente une portion de l'estimation en module de la réponse impulsionnelle du canal, et plus particulièrement le chemin principal 60 et un écho supplémentaire (figures 10A, 10B à 12A, 12B) ou deux échos supplémentaires (figures 13A, 13B). Pour chaque paire de figures 10A, 10B ; 12A, 12B et 13A, 13B, les positions relatives entre le chemin principal et l'écho supplémentaire ou les échos supplémentaires sont identiques. Les figures 10A, 10B (respectivement 12A, 12B et 13A, 13B) représentent deux positions de la fonction de filtrage FE par rapport à l'estimation en module de la réponse impulsionnelle et illustrent quelle position de la fonction de filtrage FE correspond à une énergie maximale.

Les figures 10A, 10B illustrent le cas dans lequel un écho 62 sensiblement de même amplitude que le chemin principal 60 est séparé de ce dernier d'une durée inférieure à la durée de l'échelon d'indice m_i , c'est-à-dire d'une durée inférieure à la
5 durée de l'intervalle de garde T_g . Dans ce cas, quelle que soit la position de la fonction de filtrage FE entre la position représentée en figure 10A et la position représentée en figure 10B, l'énergie de l'estimation en module de la réponse impulsionnelle est identique. On retrouve alors un résultat
10 classique obtenu avec une fenêtre dont la largeur est égale à l'intervalle de garde T_g .

Les figures 11A, 11B illustrent le cas dans lequel un écho 64 sensiblement de même amplitude que le chemin principal 60 est présent en dehors de l'intervalle de garde T_g , c'est-à-
15 dire que la durée entre le chemin principal 60 et l'écho 64 est supérieure à la durée de l'intervalle de garde T_g . Dans ce cas, l'énergie obtenue est supérieure lorsque la fonction de filtrage FE occupe la position représentée en figure 11A par rapport à la position représentée en figure 11B. Le positionnement de la
20 fenêtre d'analyse FFT est donc déterminé à partir de la position de la fonction de filtrage correspondant à la figure 11A. La présente invention permet donc de prendre en compte des échos de forte amplitude en dehors de l'intervalle de garde.

Les figures 12A, 12B illustrent le cas dans lequel un
25 écho 66 ayant une amplitude inférieure au chemin principal est présent en dehors de l'intervalle de garde. Dans ce cas, l'énergie obtenue est supérieure lorsque la fonction de filtrage FE occupe la position représentée en figure 12A par rapport à la position représentée en figure 12B. Ceci signifie que la
30 participation d'un écho 66 de faible amplitude en dehors de l'intervalle de garde T_g est plus faible que la participation du chemin principal 60 pour le positionnement de la fenêtre d'analyse FFT.

Les figures 13A, 13B illustrent le cas dans lequel
35 deux échos 68, 70 d'amplitudes faibles et identiques sont

disposés de façon symétrique de part et d'autre du chemin principal 60, la durée séparant chaque écho 68, 70 et le chemin principal 60 étant supérieure à la moitié de la durée de l'intervalle de garde T_g . Dans ce cas, l'énergie obtenue est maximale lorsque la fonction de filtrage FE occupe la position représentée en figure 13A par rapport à la position représentée en figure 13B. Ceci signifie que des échos de même amplitude symétriques par rapport au chemin principal en dehors de l'intervalle de garde ont une participation identique pour le positionnement de la fenêtre d'analyse FFT.

La présente invention permet donc de prendre en compte des échos en dehors de l'intervalle de garde pour le positionnement de la fenêtre d'analyse FFT, tout en pondérant la participation attribuée par de tels échos en fonction de leur amplitude et de l'écart par rapport au chemin principal, permettant d'éviter une instabilité du procédé de positionnement de la fenêtre d'analyse FFT.

La position d'énergie maximale obtenue à partir de la fonction de filtrage FE peut être utilisée pour affiner le positionnement du filtre d'interpolation mis en oeuvre pour la détermination de l'estimation de la réponse fréquentielle du canal pour les porteuses autres que les pilotes continus et répartis.

Bien entendu, la présente invention est susceptible de diverses variantes et modifications qui apparaîtront à l'homme de l'art. En particulier, dans l'exemple de démodulateur de la figure 6, tous les modules peuvent être modifiés ou remplacés par des éléments appropriés. Par exemple, l'entrée E du circuit peut recevoir directement un signal centré sur environ 4,5 MHz. Le convertisseur analogique-numérique peut être extérieur au démodulateur.

La présente invention a principalement été décrite dans le cadre de la transmission hertzienne de télévision numérique, définie par la norme ETSI EN 300 744, V1.4.1. Cependant, la présente invention n'est ni limitée à cette norme

ni à ce domaine et peut être appliquée dans et à tout appareil comportant un démodulateur COFDM, récepteur de télévision ou non. Par exemple, le démodulateur selon la présente invention peut être utilisé dans un téléphone portable.

5 En outre, la fonction de filtrage FE a été décrite dans le cadre d'un procédé de traitement de signaux numériques. Il est clair que la présente invention peut être mise en oeuvre dans le cadre d'un procédé de traitement de signaux analogiques, la fonction de filtrage utilisée étant une fonction continue
10 correspondant alors à la fonction en échelons précédemment décrite.

REVENDICATIONS

1. Procédé de démodulation COFDM d'un signal reçu depuis un canal de transmission, comprenant les étapes suivantes :

5 effectuer la transformée de Fourier rapide du signal reçu dans une fenêtre (W) correspondant à un symbole (S), chaque symbole comportant plusieurs porteuses modulées en phase et/ou en amplitude, dont certaines sont des pilotes, et étant accolé à un intervalle de garde (Tg) reproduisant une partie du symbole ;

10 fournir un ensemble de valeurs estimées de la réponse impulsionnelle en module à partir des pilotes ;

déterminer des coefficients, chaque coefficient étant obtenu à partir du produit dudit ensemble et d'une fonction de filtrage (FE) pour une position relative déterminée de la fonction de filtrage par rapport audit ensemble ;

15 déterminer le coefficient maximum et la position relative correspondante ; et

positionner ladite fenêtre en fonction de ladite position relative correspondant au coefficient maximum,

20 la fonction de filtrage comprenant une partie centrale d'amplitude constante (LMAX) et de durée égale à la durée de l'intervalle de garde, entourée de flancs décroissants non nuls.

2. Procédé selon la revendication 1, dans lequel l'étape consistant à fournir l'ensemble de valeurs estimées de la réponse impulsionnelle en module comprend une étape de
25 fourniture d'un ensemble de valeurs estimées de la réponse fréquentielle du canal de transmission à partir des pilotes et une étape de transformation dudit ensemble de valeurs estimées de la réponse fréquentielle par transformée de Fourier rapide inverse.

30 3. Procédé selon la revendication 1, dans lequel, pour chaque position relative de la fonction de filtrage (FE) par rapport à l'ensemble de valeurs estimées de la réponse impulsionnelle en module, le coefficient est déterminé à partir de la somme des produits des valeurs estimées de l'ensemble de

valeurs estimées de la réponse impulsionnelle en module et de la fonction de filtrage.

4. Procédé selon la revendication 1, dans lequel l'ensemble de valeurs estimées de la réponse impulsionnelle en module est périodique, la fonction de filtrage (FE) ayant une
5 largeur totale inférieure à la période de l'ensemble de valeurs estimées de la réponse impulsionnelle en module.

5. Procédé selon la revendication 1, dans lequel la fonction de filtrage (FE) est une fonction à échelons.

10 6. Procédé selon la revendication 5, dans lequel chaque flanc comprend au moins un premier et un second échelons adjacents ayant chacun une amplitude non nulle et strictement inférieure à l'amplitude (LMAX) de la portion centrale, le second échelon étant adjacent à la portion centrale, le double
15 de l'amplitude du second échelon étant supérieur à la somme de l'amplitude de la portion centrale et de l'amplitude du premier échelon.

7. Procédé selon la revendication 6, dans lequel la durée du second échelon est inférieure à la durée du premier
20 échelon.

8. Procédé selon la revendication 1, dans lequel la fonction de filtrage (FE) est symétrique.

9. Démodulateur COFDM destiné à recevoir un signal reçu depuis un canal de transmission, comprenant :

25 un circuit de transformée de Fourier rapide (20) du signal reçu dans une fenêtre (W) correspondant à un symbole (S), chaque symbole comportant plusieurs porteuses modulées en phase et/ou en amplitude, dont certaines sont des pilotes, et étant accolé à un intervalle de garde (Tg) reproduisant une partie du
30 symbole ;

un circuit (22) de fourniture d'un ensemble de valeurs estimées de la réponse impulsionnelle en module du canal de transmission à partir des pilotes ;

35 un circuit (22) de détermination de coefficients, chaque coefficient étant obtenu à partir du produit dudit

ensemble et d'une fonction de filtrage (FE) pour une position relative déterminée de la fonction de filtrage par rapport audit ensemble ;

un circuit (22) de détermination du coefficient
5 maximum et de la position relative correspondante ; et

un circuit (22) de positionnement de ladite fenêtre en fonction de ladite position relative correspondant au coefficient maximum,

10 dans lequel la fonction de filtrage utilisée par le circuit de détermination des coefficients comprend une partie centrale d'amplitude constante (LMAX) et de durée égale à la durée de l'intervalle de garde, entourée de flancs décroissants non nuls.

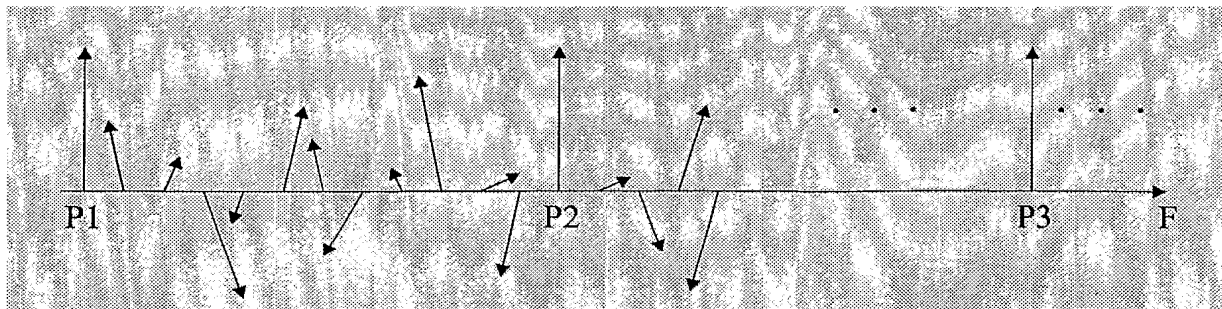


Fig 1

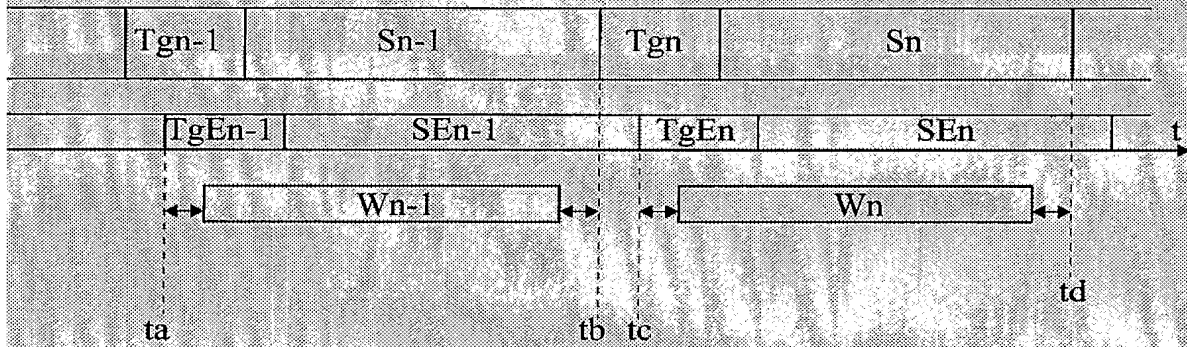


Fig 2

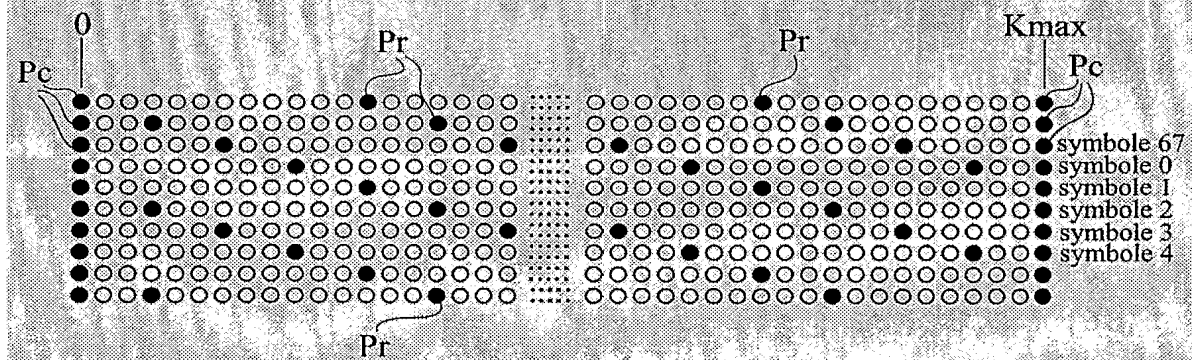


Fig 3

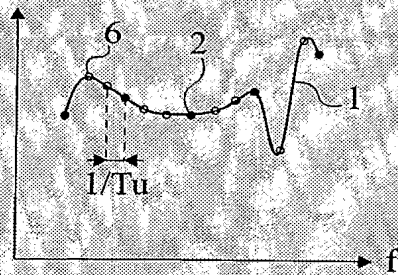


Fig 4A

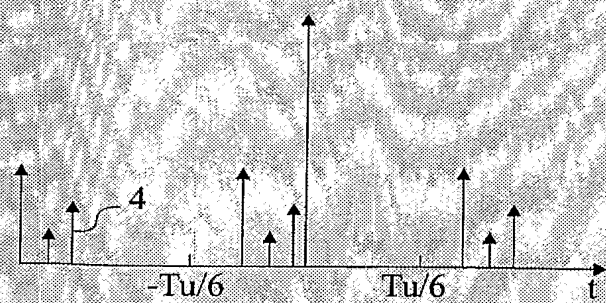


Fig 4B

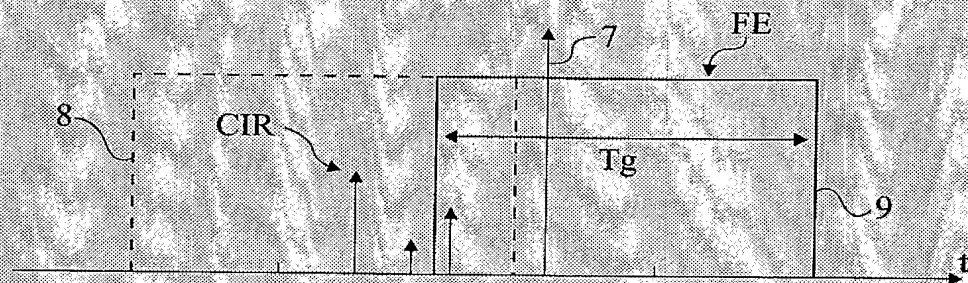


Fig 5

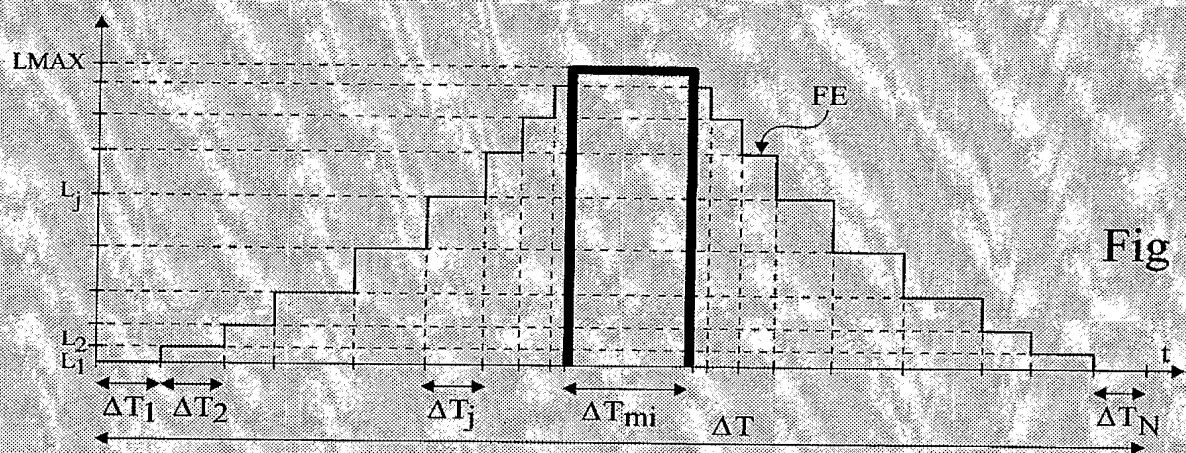


Fig 7

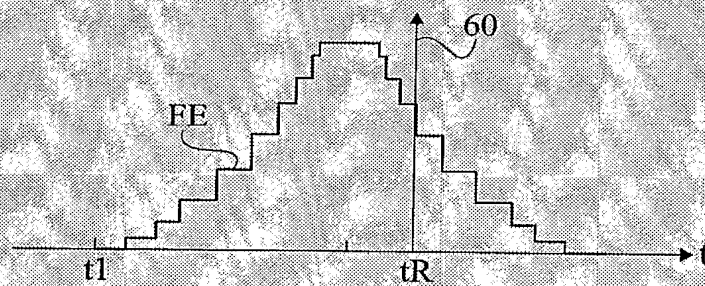


Fig 8

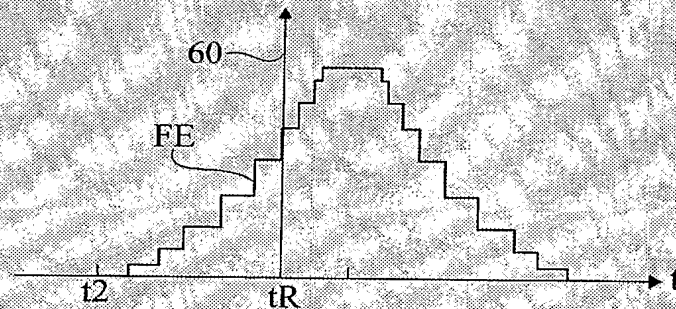


Fig 9

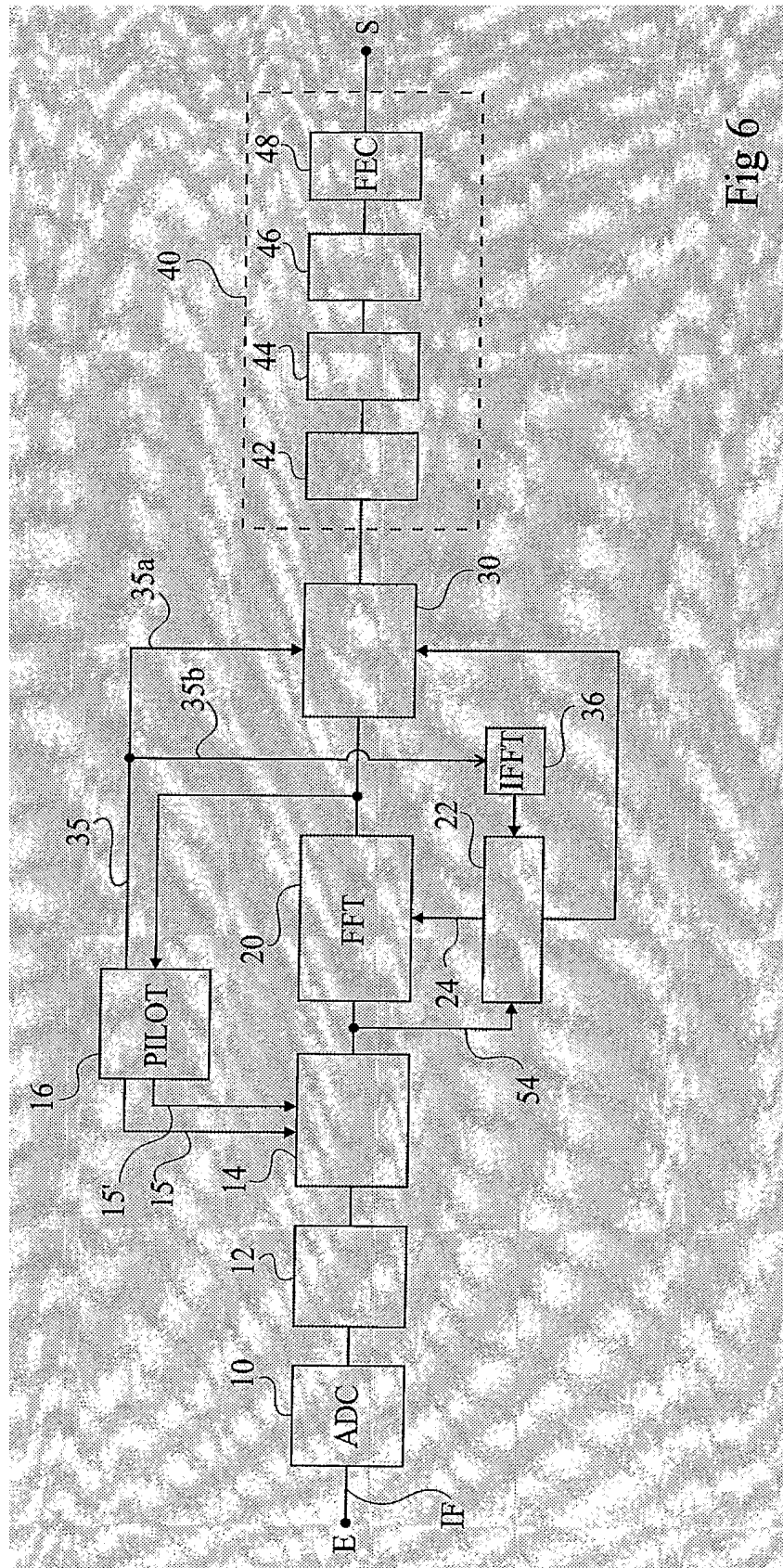


Fig 6

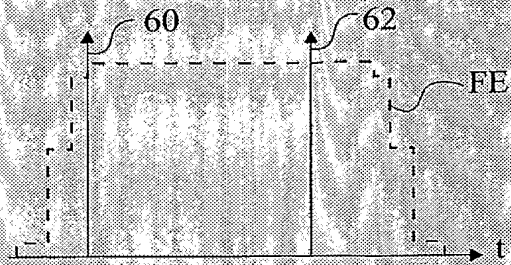


Fig 10A

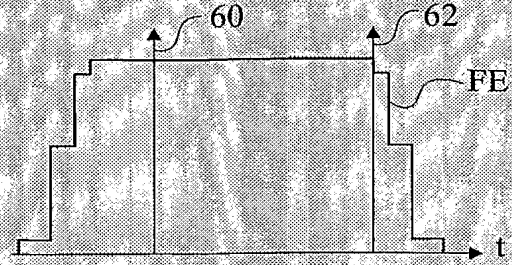


Fig 10B

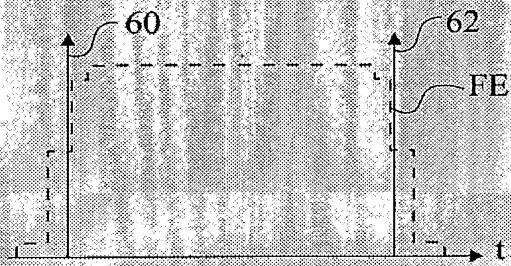


Fig 11A

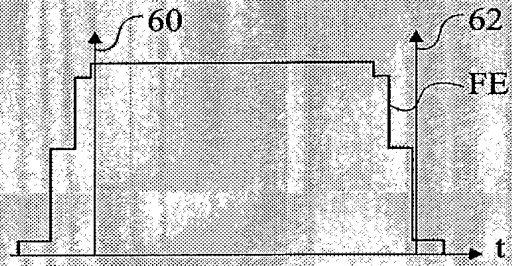


Fig 11B

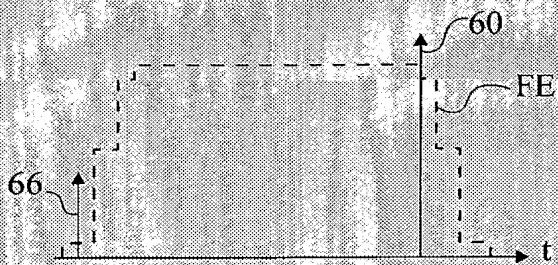


Fig 12A

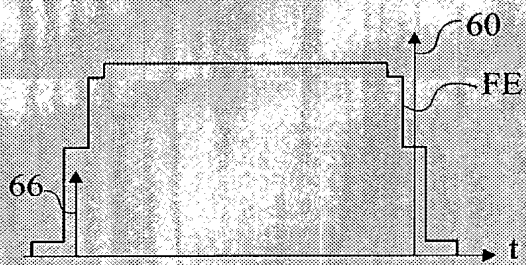


Fig 12B

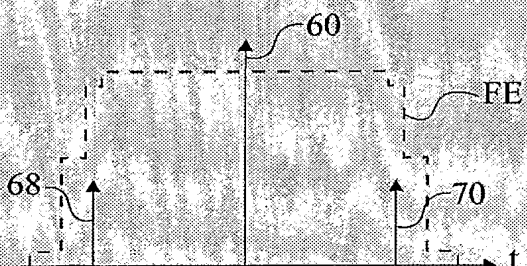


Fig 13A

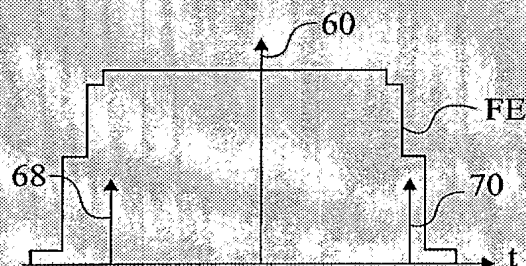


Fig 13B

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International Application No

PCT/FR2005/050199

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER

IPC 7 H04L27/26

According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC

B. FIELDS SEARCHED

Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)

IPC 7 H04L

Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched

Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practical, search terms used)

EPO-Internal, WPI Data, INSPEC, COMPENDEX

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category *	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
X	EP 1 387 544 A (BRITISH BROADCASTING CORP) 4 February 2004 (2004-02-04) page 2, line 13 - line 23 page 3, line 28 - line 32 page 4, line 41 - line 43 page 5, line 51 - line 55 page 6, line 1 - line 7 page 6, line 51 - page 7, line 15 page 8, line 6 - line 9 page 8, line 28 - line 35 -----	1-9
A	EP 1 330 091 A (ST MICROELECTRONICS SA) 23 July 2003 (2003-07-23) column 7, line 25 - line 49 column 8, line 2 - line 42 figure 5 ----- -/--	1,2,4,9

☒ Further documents are listed in the continuation of box C.☒ Patent family members are listed in annex.

* Special categories of cited documents :

- "A" document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance
- "E" earlier document but published on or after the international filing date
- "L" document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)
- "O" document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means
- "P" document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed

"T" later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention

"X" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone

"Y" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art.

"&" document member of the same patent family

Date of the actual completion of the international search

12 July 2005

Date of mailing of the international search report

25/07/2005

Name and mailing address of the ISA

European Patent Office, P.B. 5818 Patentlaan 2
NL - 2280 HV Rijswijk
Tel. (+31-70) 340-2040, Tx. 31 651 epo nl,
Fax: (+31-70) 340-3016

Authorized officer

Moreno, M

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International Application No

PCT/FR2005/050199

C.(Continuation) DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category °	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
A	WO 00/51301 A (MEYER JACQUES ; ST MICROELECTRONICS SA (FR)) 31 August 2000 (2000-08-31) page 4, line 6 - line 11 page 8, line 1 - line 18 figure 4 -----	1,9
A	WO 01/69878 A (CONEXANT DIGITAL INFOTAINMENT ; FOXCROFT THOMAS (GB)) 20 September 2001 (2001-09-20) page 1, line 31 - page 2, line 20 figure 1 -----	1,9
A	WO 99/27671 A (CHOI HYUNG JIN ; DO SANG HYUN (KR); KIM DONG KYU (KR); SAMSUNG ELECTRO) 3 June 1999 (1999-06-03) page 2, line 14 - line 24 page 7, line 19 - line 23 figures 1,4B -----	5,8

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

Information on patent family members

International Application No

PCT/FR2005/050199

Patent document cited in search report		Publication date	Patent family member(s)		Publication date
EP 1387544	A	04-02-2004	EP	1387544 A2	04-02-2004
			GB	2390517 A	07-01-2004
EP 1330091	A	23-07-2003	FR	2835136 A1	25-07-2003
			EP	1330091 A1	23-07-2003
			US	2003138060 A1	24-07-2003
WO 0051301	A	31-08-2000	FR	2790344 A1	01-09-2000
			EP	1074128 A1	07-02-2001
			WO	0051301 A1	31-08-2000
			JP	2002538668 A	12-11-2002
WO 0169878	A	20-09-2001	GB	2365714 A	20-02-2002
			WO	0169878 A1	20-09-2001
WO 9927671	A	03-06-1999	KR	265735 B1	15-09-2000
			AU	1508299 A	15-06-1999
			GB	2346050 A ,B	26-07-2000
			WO	9927671 A1	03-06-1999
			US	6853616 B1	08-02-2005

A. CLASSEMENT DE L'OBJET DE LA DEMANDE
 CIB 7 H04L27/26

Selon la classification internationale des brevets (CIB) ou à la fois selon la classification nationale et la CIB

B. DOMAINES SUR LESQUELS LA RECHERCHE A PORTE

Documentation minimale consultée (système de classification suivi des symboles de classement)

CIB 7 H04L

Documentation consultée autre que la documentation minimale dans la mesure où ces documents relèvent des domaines sur lesquels a porté la recherche

Base de données électronique consultée au cours de la recherche internationale (nom de la base de données, et si réalisable, termes de recherche utilisés)

EPO-Internal, WPI Data, INSPEC, COMPENDEX

C. DOCUMENTS CONSIDERES COMME PERTINENTS

Catégorie °	Identification des documents cités, avec, le cas échéant, l'indication des passages pertinents	no. des revendications visées
X	EP 1 387 544 A (BRITISH BROADCASTING CORP) 4 février 2004 (2004-02-04) page 2, ligne 13 - ligne 23 page 3, ligne 28 - ligne 32 page 4, ligne 41 - ligne 43 page 5, ligne 51 - ligne 55 page 6, ligne 1 - ligne 7 page 6, ligne 51 - page 7, ligne 15 page 8, ligne 6 - ligne 9 page 8, ligne 28 - ligne 35 -----	1-9
A	EP 1 330 091 A (ST MICROELECTRONICS SA) 23 juillet 2003 (2003-07-23) colonne 7, ligne 25 - ligne 49 colonne 8, ligne 2 - ligne 42 figure 5 ----- -/--	1,2,4,9

☒ Voir la suite du cadre C pour la fin de la liste des documents

☒ Les documents de familles de brevets sont indiqués en annexe

° Catégories spéciales de documents cités:

"A" document définissant l'état général de la technique, non considéré comme particulièrement pertinent

"E" document antérieur, mais publié à la date de dépôt international ou après cette date

"L" document pouvant jeter un doute sur une revendication de priorité ou cité pour déterminer la date de publication d'une autre citation ou pour une raison spéciale (telle qu'indiquée)

"O" document se référant à une divulgation orale, à un usage, à une exposition ou tous autres moyens

"P" document publié avant la date de dépôt international, mais postérieurement à la date de priorité revendiquée

"T" document ultérieur publié après la date de dépôt international ou la date de priorité et n'appartenant pas à l'état de la technique pertinent, mais cité pour comprendre le principe ou la théorie constituant la base de l'invention

"X" document particulièrement pertinent; l'invention revendiquée ne peut être considérée comme nouvelle ou comme impliquant une activité inventive par rapport au document considéré isolément

"Y" document particulièrement pertinent; l'invention revendiquée ne peut être considérée comme impliquant une activité inventive lorsque le document est associé à un ou plusieurs autres documents de même nature, cette combinaison étant évidente pour une personne du métier

"&" document qui fait partie de la même famille de brevets

Date à laquelle la recherche internationale a été effectivement achevée

12 juillet 2005

Date d'expédition du présent rapport de recherche internationale

25/07/2005

Nom et adresse postale de l'administration chargée de la recherche internationale

 Office Européen des Brevets, P.B. 5818 Patentlaan 2
 NL - 2280 HV Rijswijk
 Tel. (+31-70) 340-2040, Tx. 31 651 epo nl,
 Fax: (+31-70) 340-3016

Fonctionnaire autorisé

Moreno, M

C.(suite) DOCUMENTS CONSIDERES COMME PERTINENTS

Catégorie	Identification des documents cités, avec, le cas échéant, l'indication des passages pertinents	no. des revendications visées
A	WO 00/51301 A (MEYER JACQUES ; ST MICROELECTRONICS SA (FR)) 31 août 2000 (2000-08-31) page 4, ligne 6 - ligne 11 page 8, ligne 1 - ligne 18 figure 4 -----	1,9
A	WO 01/69878 A (CONEXANT DIGITAL INFOTAINMENT ; FOXCROFT THOMAS (GB)) 20 septembre 2001 (2001-09-20) page 1, ligne 31 - page 2, ligne 20 figure 1 -----	1,9
A	WO 99/27671 A (CHOI HYUNG JIN ; DO SANG HYUN (KR); KIM DONG KYU (KR); SAMSUNG ELECTRO) 3 juin 1999 (1999-06-03) page 2, ligne 14 - ligne 24 page 7, ligne 19 - ligne 23 figures 1,4B -----	5,8

RAPPORT DE RECHERCHE INTERNATIONALE

Renseignements relatifs aux membres de familles de brevets

Demande Internationale No

PCT/FR2005/050199

Document brevet cité au rapport de recherche		Date de publication	Membre(s) de la famille de brevet(s)	Date de publication
EP 1387544	A	04-02-2004	EP 1387544 A2	04-02-2004
			GB 2390517 A	07-01-2004
EP 1330091	A	23-07-2003	FR 2835136 A1	25-07-2003
			EP 1330091 A1	23-07-2003
			US 2003138060 A1	24-07-2003
WO 0051301	A	31-08-2000	FR 2790344 A1	01-09-2000
			EP 1074128 A1	07-02-2001
			WO 0051301 A1	31-08-2000
			JP 2002538668 A	12-11-2002
WO 0169878	A	20-09-2001	GB 2365714 A	20-02-2002
			WO 0169878 A1	20-09-2001
WO 9927671	A	03-06-1999	KR 265735 B1	15-09-2000
			AU 1508299 A	15-06-1999
			GB 2346050 A ,B	26-07-2000
			WO 9927671 A1	03-06-1999
			US 6853616 B1	08-02-2005